

**CONTRIBUCIÓN A LOS MODELOS Y METODOLOGÍAS  
PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CALIDAD PERCIBIDA  
POR LOS USUARIOS (QoE)  
A PARTIR DE PARÁMETROS  
DE CALIDAD DE RED/SERVICIO (QoS)  
EN SERVICIOS CONVERGENTES MULTIMEDIA  
(TRIPLE-PLAY)**

AUTOR: PEDRO DE LA CRUZ RAMOS (UPM)  
DIRECTORES: FRANCISCO GONZÁLEZ VIDAL (UPM)  
RAQUEL PÉREZ LEAL (UC3M)



# CONTENIDO

- Introducción y Objetivos
- Modelo General de Calidad
- Servicio de Difusión de TV sobre IP (IPTV)
  - Modelo de Calidad de Vídeo
- Servicio de Llamadas de Voz sobre IP (VoIP)
- Servicio de Acceso a Internet
- Calidad del Servicio Global (3P)
- Conclusiones y Líneas Futuras





# INTRODUCCIÓN

## Contexto:

- Servicios Triple-Play (3P): Datos+Voz+Vídeo
- Convergentes: Desplegados sobre la misma Red de Transporte IP
- Gestionada por un único operador como Sistema Autónomo

## Objetivo:

- Estimación de la Calidad de Experiencia (QoE)
- En tiempo casi-real
- A partir de parámetros de Calidad de Servicio (QoS) y rendimiento de la red

## Problema:

- No existen modelos de estimación adecuados para Servicios 3P completos

## Propuesta:

- Modelo de estimación para Servicios 3P convergentes completos

## Utilidad:

- Para operadores, usuarios, reguladores y evaluadores



¡CONTRIBUCIÓN!





# CONCEPTO DE CALIDAD

## Calidad (en general):

ITU-T E.802: La totalidad de las características de una entidad que determinan su capacidad para satisfacer necesidades explícitas o implícitas.

## Calidad de Servicio (QoS):

ITU-T E.802: Efecto colectivo del rendimiento del servicio, que determina el grado de satisfacción de los usuarios.

## Calidad de Experiencia (QoE):

ITU-T G.100/P.10: Aceptabilidad general de una aplicación o servicio, percibida subjetivamente por los usuarios finales.

ITU-T E.800: Dos componentes:

- Cuantitativo: Calidad de funcionamiento de la red
- Cualitativo: Expectativas de los usuarios





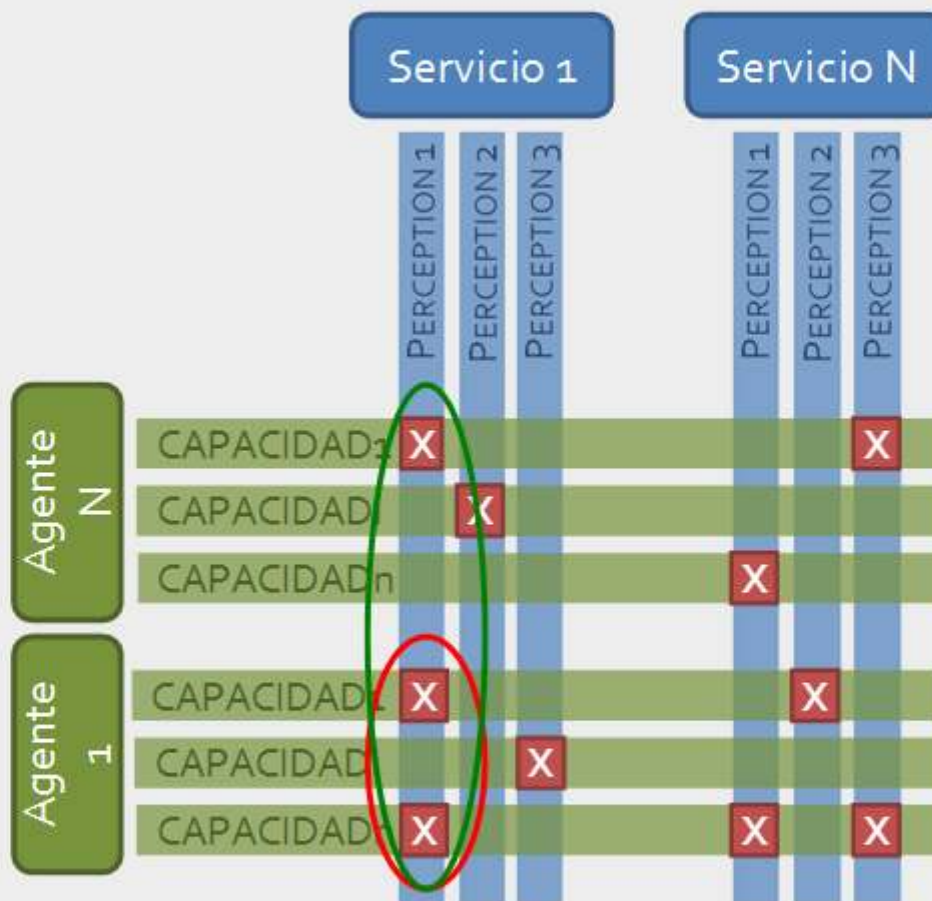
# MODELO GENERAL DE CALIDAD





# ESTRUCTURA MATRICIAL

- Servicios
- Percepciones
- Agentes
- Capacidades
- Puntos de Cruce
- Indicadores de Rendimiento
  - Elementales (IRE) X
  - Locales (IRL) ○
  - Globales (IRG) ○



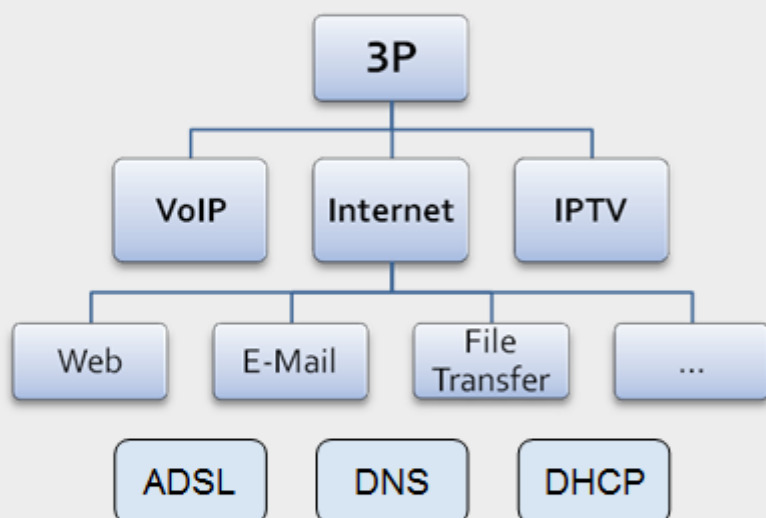
[Liberal 2005]





# ELEMENTOS DEL MODELO

- **Usuarios:** Residenciales, SOHO, Empresariales
- **Servicios:** Global, Finales, Básicos, de Soporte



Tipo	Oferta	Percepcion
Global	Paquete Único	Compuesto
Final	No Independiente	Independiente
Básico	No Independiente	No Independiente
Soporte	No Independiente	No Percibido

- **Percepciones** → Factores Globales de Valoración (FGV)
- **Agentes** → Parámetros de Funcionamiento Interno (PFI)





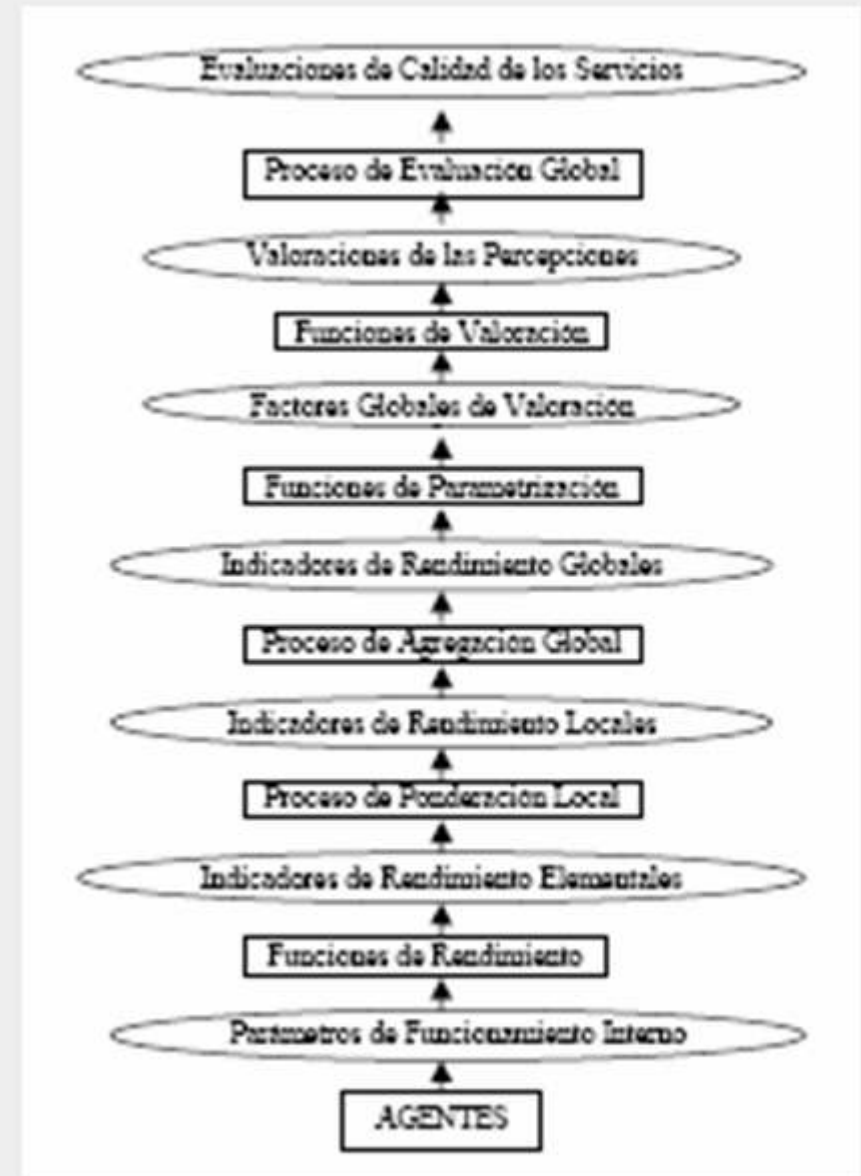
# PROCESO DE EVALUACIÓN

## Procesos de Ponderación/Agregación:

- **Local (PPL):** IRE  $\rightarrow$  IRL
  - Matriz de Ponderación Local (MPL)
- **Global (PAG):** IRL  $\rightarrow$  IRG
  - Métricas

## Proceso de Evaluación Global: AHP

- Matrices de Importancia
- Índices de Consistencia
- Pesos de Ponderación







# APLICACIÓN A TRIPLE-PLAY (I)



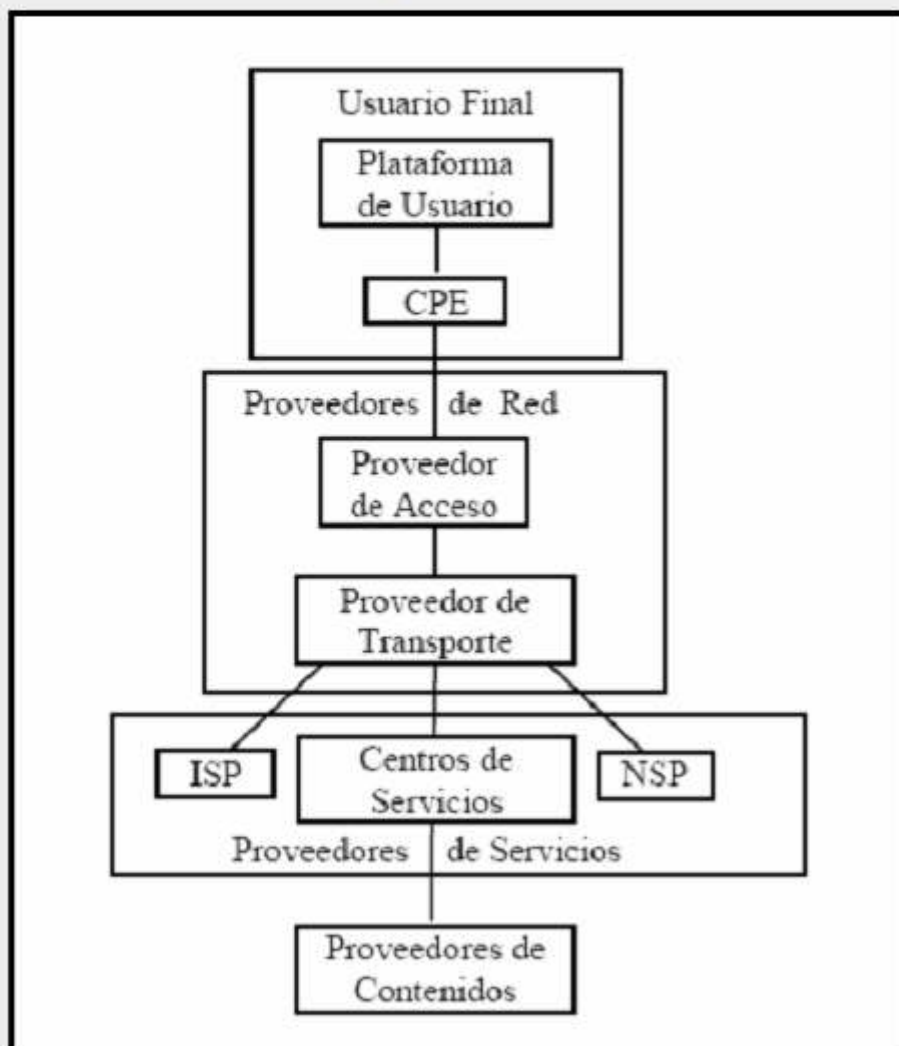
¡CONTRIBUCIÓN!

SERVICIO	PERCEPCIÓN	FGV
<b>Acceso a Internet</b>		
Navegación Correo Electrónico Transferencia de Archivos Compartición de Archivos	Rapidez de Respuesta	Tiempo de Arranque
	Rapidez de Transferencia	Tasa de Transferencia Sostenida
<b>Telefonía sobre IP (ToIP)</b>		
Llamadas de Voz	Calidad de Voz	Factor-R
	Rapidez de Respuesta	Tiempo de Espera para Marcación
	Rapidez de Establecimiento	Tiempo de Establecimiento de Llamada
<b>Televisión sobre IP (IPTV)</b>		
Difusión de Televisión	Calidad de Vídeo	VQM
	Calidad de Audio	Factor-Q
	Sincronización Audio/Vídeo	Retardo Audio/Video
	Rapidez de Cambio de Canal	Tiempo de Cambio de Canal
<b>Todos</b>		
<b>Todos los Servicios</b>	Disponibilidad	Fracción de Conexiones Fallidas
	Fiabilidad	Fracción de Conexiones Interrumpidas



## APLICACIÓN A TRIPLE-PLAY (II)

## Agentes

[illegible]



# APLICACIÓN A TRIPLE-PLAY (III)

SERVICIO	PERCEPCIONES	INDICADORES	
Navegación Correo Electrónico Transferencia de Archivos Compartición de Archivos	Rapidez de Respuesta Rapidez de Transferencia	Ancho de Banda Efectivo Retardo en ambos sentidos Tiempos de proceso y respuesta Características de las páginas, mensajes o archivos	
Llamadas de Voz	Calidad de Voz Rapidez de Respuesta Rapidez de Establecimiento de Llamada	Ancho de Banda Efectivo Variación del Retardo (Jitter) Tipo de códec Parámetros de Codificación Tiempos de proceso y respuesta	Retardo en ambos sentidos Fracción de Paquetes Perdidos Tasa de Codificación de Voz Fracción de paquetes erróneos
Difusión de Televisión	Calidad de Vídeo	Fracción de Paquetes Perdidos Tipo de códec Información Espacial y Temporal	Tasa de Codificación de Vídeo Parámetros de Codificación Tipo de secuencia
	Calidad de Audio	Fracción de Paquetes Perdidos Tipo de códec	Tasa de Codificación de Audio Parámetros de Codificación
	Sincronización Audio/Video	Diferencia de retardos Audio/Vídeo	
	Rapidez de Cambio de Canal	Retardo en ambos sentidos Fracción de Paquetes Perdidos	Tiempos de reacción y proceso
Todos los Servicios	Disponibilidad Fiabilidad	Retardo en ambos sentidos Fracción de Paquetes Erróneos	Fracción de Paquetes Perdidos Probabilidad de Error





# SERVICIO DE DIFUSIÓN DE TELEVISIÓN SOBRE IP (IPTV)





# CALIDAD DE EXPERIENCIA EN IPTV

Depende de múltiples factores:

1. Calidad Audiovisual:

- a) Calidad de Vídeo
- b) Calidad de Audio
- c) Sincronización Audio-Vídeo (Lip Sync)

2. Tiempo de Cambio de Canal (zapping)

3. Disponibilidad y Fiabilidad del servicio

4. Condiciones de visionado (tamaño de pantalla, distancia, ...)

5. Condiciones ambientales (iluminación, ruido, ...)

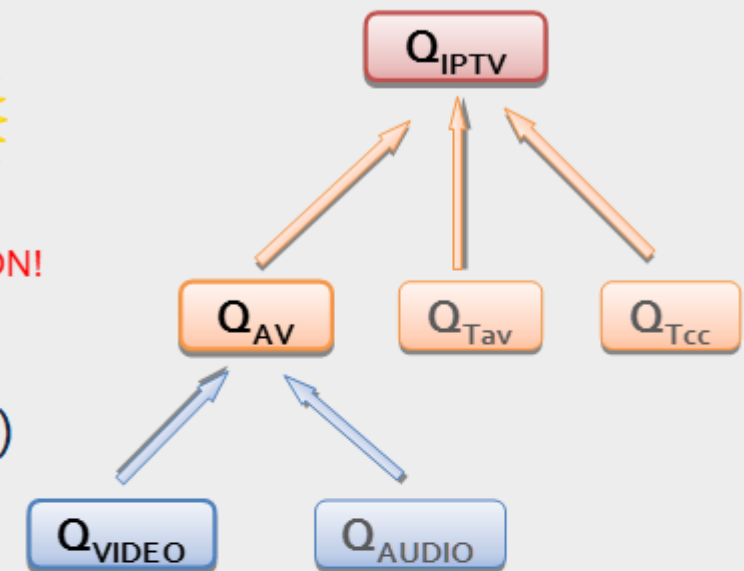
6. Accesibilidad y facilidad de uso (ergonomía)

7. Servicio de Atención al Cliente

Nos centramos en 1,2 y (posteriormente) 3.



¡CONTRIBUCIÓN!







# CALIDAD DE VÍDEO

- Múltiples medidas: MPQM, PDM, VQM
- Medidas RC, RR, SR
- Medida elegida: VQM (ITS/NTIA):
  - RC / RR
  - Estándar (ITU-T J.144)
  - Muy buena correlación con MOS (VQEG FR-TV<sub>2</sub>)
  - SW Público
- Depende de:
  - Tipo de Códec (MPEG-2/4, H.264)
  - Tasa de Codificación de Vídeo (VCR)
  - Fracción de Paquetes Perdidos (PLR)
  - Formato (SD/HD, 525@60Hz, 625@50Hz)
  - Tipo de Vídeo (entrelazado, progresivo, 'pull-down', ...)
  - Tipo de Secuencia (Natural, Artificial, Atípica)
  - Contenido de Información (Espacial y Temporal)



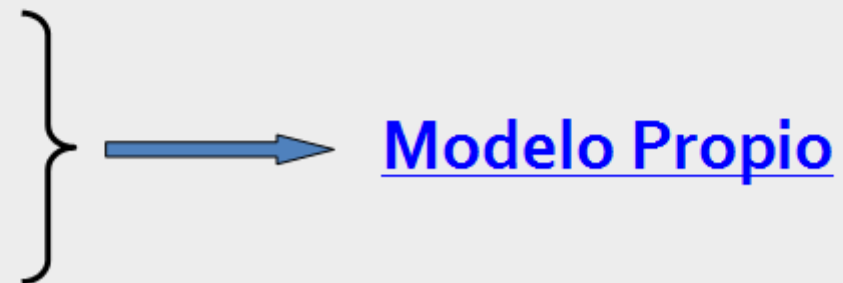


# MODELOS DE ESTIMACIÓN

Modelo	Aplicación	Medida Estimada	Variación con		Dependencia del Contenido
			VCR	PLR	
[VER1998a/c] [VER1998b] [VER1999a]	Banco de Pruebas Video sobre ATM Banco de Pruebas	MPQM	potencial	lineal	no
[FRO2001a]	Banco de Pruebas	PDM	potencial	lineal	no
[JOS2009a]	n/a	VQM	potencial	n/a	parcial
[RAA2008a]	IPTV	Factor-R	exponencial	logística	no
[YAM2006a] [YAM2008a]	Videotelefonía IPTV	MOS	logística	exponencial	no
[ITU2007c]	Videotelefonía	Factor-R	logística	exponencial	no

¿Por qué no nos sirven?

- Tipo de aplicación
- No estiman VQM
- No tienen en cuenta el contenido
- Forma de variación





# MODELO DE CALIDAD DE VÍDEO

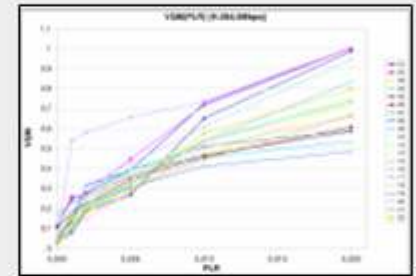
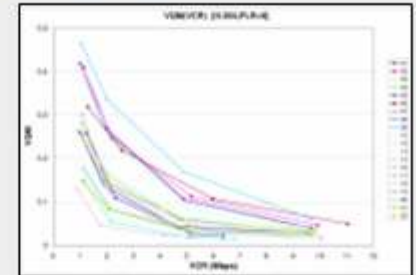
- Efectos de la Codificación y las Pérdidas
- Modelo:

$$VQM_C = VQM_{REF} \cdot (VCR/VCR_{REF})^{-Kc}$$

$$VQM_P = (1 - VQM_C) \cdot (PLR/PLR_1)^{Kp}$$

$$VQM_T = VQM_C + VQM_P$$

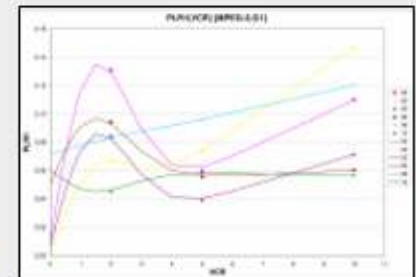
$$VQM = \begin{cases} VQM_T & \text{¡CONTRIBUCIÓN!} \\ 1,5 \cdot VQM_T / (VQM_T + 0,5) \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{si } VQM_T \leq 1 \\ \text{si } VQM_T > 1 \end{matrix}$$



- PLR<sub>1</sub>, K<sub>P</sub> dependen de VCR:

$$F(VCR) = A + B \cdot VCR \cdot (1 + C \cdot e^{-(VCR/D)^K})$$

- Para cada PLR, existe un VCR óptimo que minimiza VQM (maximiza QoE)





# CONTENIDO DE INFORMACIÓN

- Los coeficientes del modelo dependen del contenido de información
- ITU-T P.910
  - Información Espacial:  $SI = \text{MAX}_T \{ \text{STD}_S \{ \text{Sobel}(F_n) \} \}$
  - Información Temporal:  $TI = \text{MAX}_T \{ \text{STD}_S \{ \Delta(F_n, F_{n-1}) \} \}$
- Inconveniente:
  - Demasiado sensibles a valores extraordinarios



Redefinición: SI/TI Promedio:

$$ASI = \text{AVG}_T \{ \text{STD}_S \{ \text{Sobel}(F_n) \} \}$$

$$ATI = \text{AVG}_T \{ \text{STD}_S \{ |\Delta(F_n, F_{n-1})| \} \}$$

¿ Cómo calcular los coeficientes del modelo a partir de ASI/ATI ?

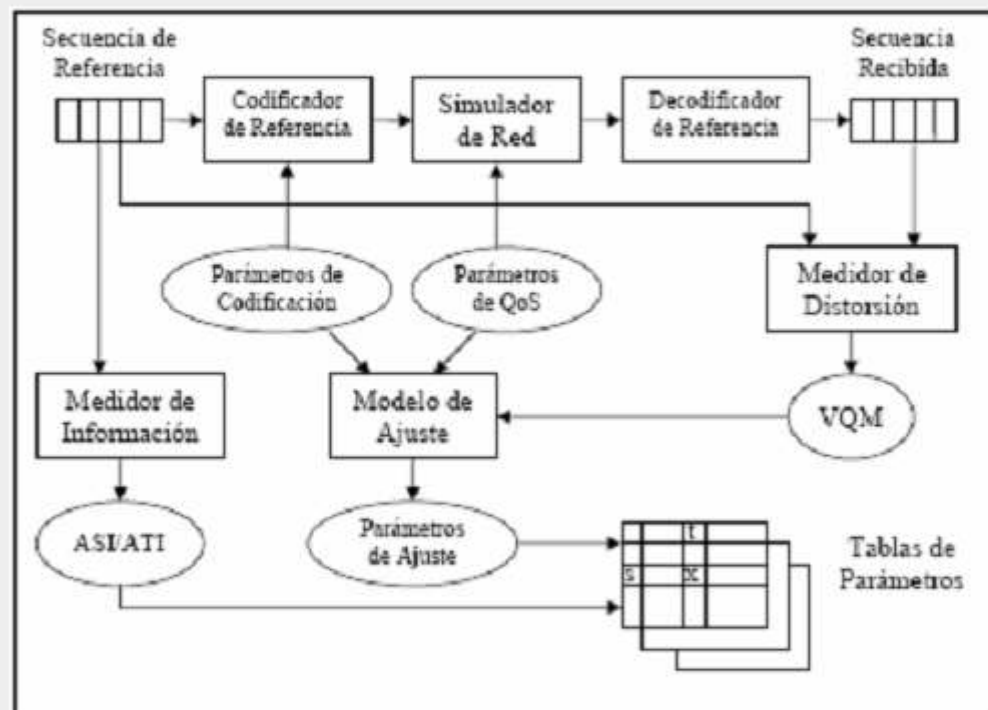




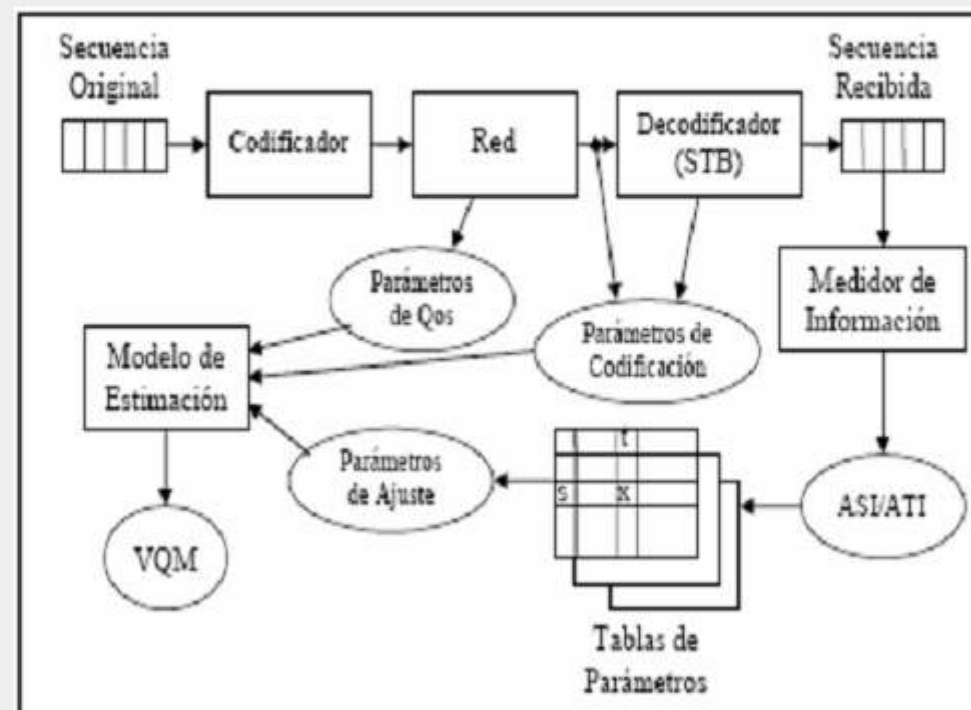
# TABLAS DE COMPLEJIDAD

## ★ Interpolación en Tablas de Complejidad precalculadas

- Entre 3 valores próximos



Fuera de servicio



En servicio

## ★ Tablas diferentes para cada Tipo de Secuencia

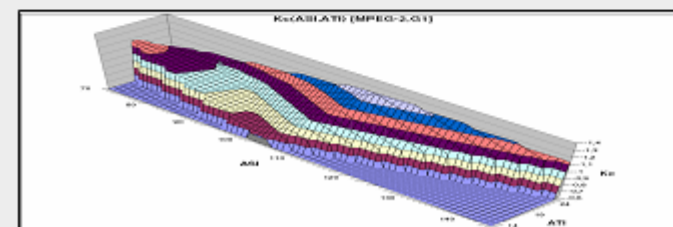
# INFLUENCIA DE ASI/ATI

- Secuencias con valores similares de ASI/ATI pueden tener coeficientes de valores muy distintos
- Factores que influyen:
  - Formato de vídeo (525/625 líneas)
  - Frecuencia de imágenes (50/60Hz)
  - Tipo de vídeo (entrelazado, progresivo, 'pull-down')
  - Tipo de secuencia: natural o artificial
  - Tamaño y estructura del GOP, etc.

## ★ Clasificación de las secuencias:

- Forma de variación:
  - Compleja (picos, crestas y valles)
  - Justifica el cálculo por interpolación

Tipo de Secuencia	Formato de Vídeo		Tipo de Vídeo
	625 a 50Hz	525 a 60Hz	
Natural	G1 02,03,05,06,09,10	G2 14,15,18,19,20,21,22	Entrelazado
Artificial	G3 04,08	G4 16,17	
Atípica	G5 01,07,13		Progresivo, Pull-down, etc.



# BANCO DE MEDIDAS

[Alvarez Villacé 2011]

- Arquitectura Funcional

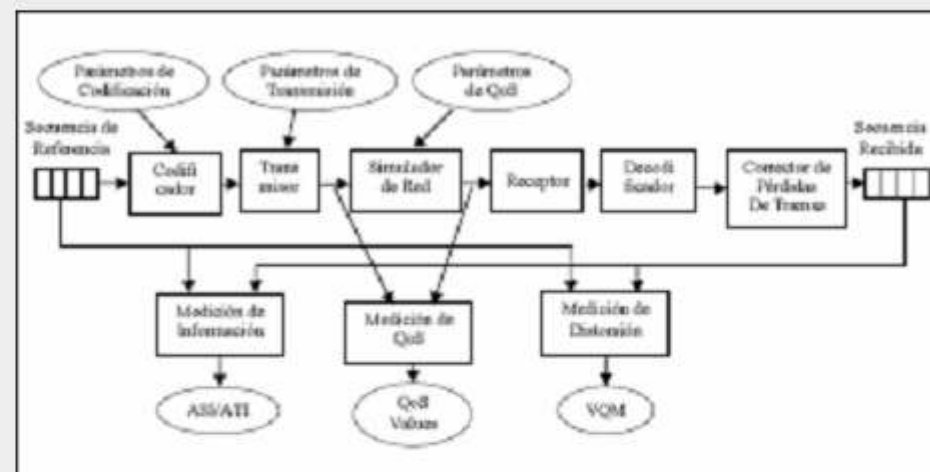
★ Prevención/Corrección de Pérdidas de Tramas

★ Medición de ASI/ATI: STIX

- Parámetros de Codificación y QoS

- Casos:

★ Medidas: 6.200 en total



Formato	Códec	VCR (Mbps)	PLR (%)	PC	FT	GOP	TB	VPRE
525 @ 60Hz	MPEG-2	2, 5, 10	0.0, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0	INF	30	15	2	n/a
	MPEG-4							default
	H.264	1, 2, 5, 10						
625 @ 50Hz	MPEG-2	2, 5, 10		SUP	25	12		n/a
	MPEG-4							
	H.264	1, 2, 5, 10						default





# ANÁLISIS ESTADÍSTICO

- Parámetros:
  - Coeficiente de Correlación de Pearson (R)
  - Error Medio (E)
  - Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)
- Resultados:

	R	E	RMSE
General	> 0,9	< 7%	< 10%
Caso Peor	> 0,8	≈ 9%	≈ 13%
Modelo	> 0,95	< 5%	≈ 7%



# CALIDAD DE AUDIO

- Métodos de medida:
  - NMR, PAQM, PERCEVAL, POM, DIX, OASE, ...
  - PEAQ [ITU-R BS.1387-1]
  - Métodos RC
- Modelos de estimación:
  - Redes Neuronales [Mohamed et al 2004]
  - **Modelo T-V** [Garcia et al 2009, 2011]: Basado en [Modelo-E](#)

$$Q = Q_0 - I_c - I_t$$

$$I_c = a_1 \cdot e^{a_2 \cdot ACR} + a_3$$

$$I_t = (b_0 - I_c) \cdot (FLR / (b_1 + FLR))$$

$$MOS = \text{Modelo-E}(Q)$$

$a_i, b_i$  dependen del códec y las características de las secuencias

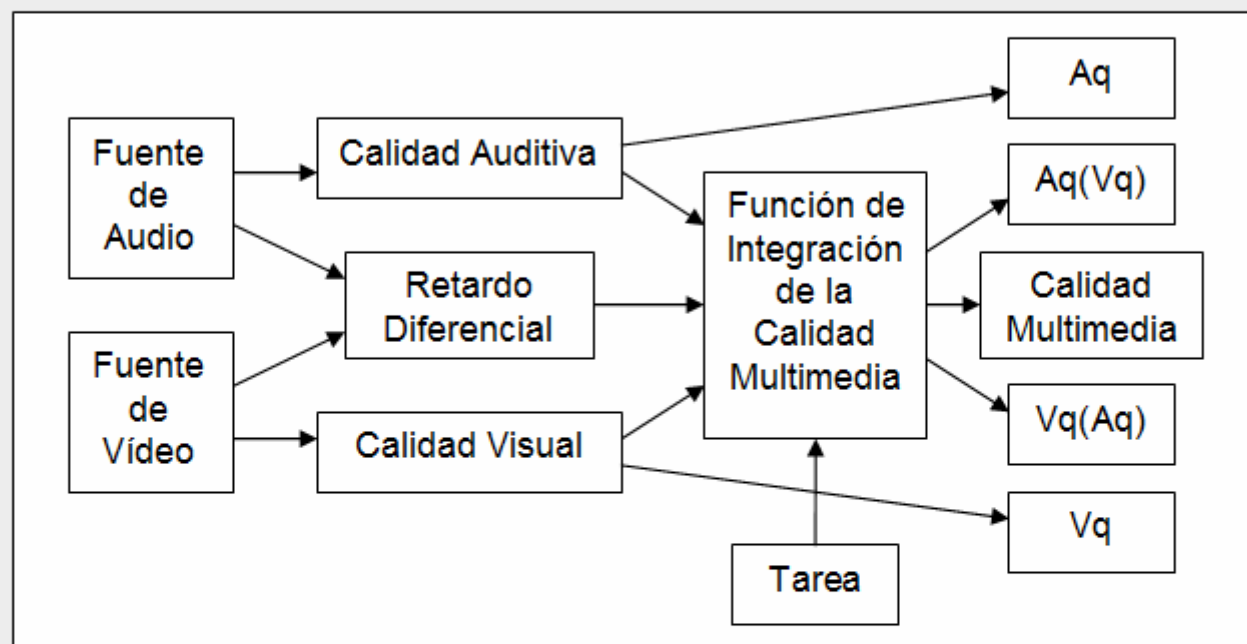




# CALIDAD AUDIOVISUAL

## Modelo de Calidad para Servicios Multimedia [ITU-T J.148]

- Calidad de Audio
- Calidad de Vídeo
- Interacción A-V
- Sincronización A-V



- Algunos estudios:

Referencia	Interacción		Influencia	
	A→V	V→A	A→AV	V→AV
[HOL1997a]	N/A	Fuerte	N/A	Fuerte
[CHA1998a]	Despreciable	Fuerte	Débil	Fuerte
[ITU1998i]	Débil	Fuerte	Débil	Fuerte
[ITU1998b][ITU1999c]	N/A	N/A	Débil	Fuerte
[BEE1999a][ITU1997c]	Débil	Fuerte	Débil	Fuerte
[JOL2001a]	Fuerte	Despreciable	Débil	Fuerte
[KNO2005a]	N/A	N/A	Fuerte	Fuerte
[WIN2005b][WIN2005c][WIN2006a]	N/A	N/A	Fuerte	Fuerte
[ITU2007c]	Apreciable	Apreciable	Fuerte	Fuerte
[CAN2010a][CAN2010b]	N/A	N/A	Fuerte	Fuerte
[GAR2009a][GAR2011a]	Apreciable	Apreciable	Débil	Fuerte





# CALIDAD AUDIOVISUAL PARA FLUJOS SINCRONIZADOS

- Modelo General:

$$Q_{AV} = K_0 + K_A \cdot Q_A + K_V \cdot Q_V + K_{AV} \cdot Q_A \cdot Q_V$$

- Aproximaciones:

- Modelo Lineal:

$$Q_{AV} = K_0 + K_A \cdot Q_A + K_V \cdot Q_V$$

- Modelo Multiplicativo:

$$Q_{AV} = K_0 + K_{AV} \cdot Q_A \cdot Q_V$$

- Algunos modelos:

- Tipo, coeficientes:  
dependen del tipo  
de aplicación

Referencia	Tipo de		Coeficientes			
	Aplicación	Modelo	$K_0$	$K_A$	$K_V$	$K_{AV}$
[WIN2005b]	TV Móvil	Multiplicativo	1,98	--	--	0,103
[WIN2006a]		Lineal	-1,51	0,456	0,770	--
[ITU1998b] [ITU1999c]	Multimedia	Multiplicativo	1,017	--	--	0,183
[BEE1999a] [ITU1997c]	Televisión	General	1,12	0,007	0,24	0,88
		Multiplicativo	1,45	--	--	0,11
[ITU1998b] [ITU1999c]	Multimedia	Multiplicativo	1,3	--	--	1,1
[ITU1998i]	Multimedia	Multiplicativo	1,51	--	--	0,12
[CHA1998a]	Video conferencia	Lineal	-0,10	0,21	0,12	--
		Multiplicativo	1,76	--	--	0,10
[ITU1993j]	Multimedia	Multiplicativo	1,30	--	--	0,11
[ITU1994a]	Multimedia	Multiplicativo	1,07	--	--	0,11
[GAR2009a] [GAR2011a]	IPTV	General	30,99	0	0	0,006
			28,49	0	0,13	0,006





# MODELO ELEGIDO

- [Garcia et al 2009,2011]

- Más reciente
- Específico para IPTV
- Influencia del contenido

Tipo	Video	Audio
A	Película	Voz sobre música
B	Entrevista	Voz
C	Fútbol	Voz sobre ruido
D	Película	Música clásica
E	Vídeo musical	Música pop con cantante

- HD:  $Q_{AV} = K_0 + K_V \cdot Q_V + K_{AV} \cdot Q_A \cdot Q_V$  (general)
- SD:  $Q_{AV} = K_0 + K_{AV} \cdot Q_A \cdot Q_V$  (multiplicativo)  
 $MOS = \text{Modelo-E}(Q_{AV})$   
 $Q_A$  se utiliza directamente  
 $Q_V = \text{Modelo-E}^{-1}(MOS_V)$
- Coeficientes: Dependen del tipo de contenido



# SINCRONIZACIÓN AUDIO-VÍDEO

Dos alternativas:

★ Variación logarítmica entre umbrales [ITU-R BT.1359-1]

$$\text{MOS} = \begin{cases} 1 & T \leq -90\text{ms} \\ 26.97 - 13.29 \log(-T) & -90\text{ms} < T < -45\text{ms} \\ 5 & -45\text{ms} \leq T \leq +125\text{ms} \\ 54.26 - 23.49 \log T & +125\text{ms} < T < +185\text{ms} \\ 1 & T \geq +185\text{ms} \end{cases}$$

★ Factor de Degradación [ITU-T G.1070] (adaptado)

$$\begin{aligned} \text{QTav} &= \max(m_{10} + \text{MS}, 1) \\ \text{MS} &= \begin{cases} \min(m_{12} + m_{11} \cdot T_{AV}, 0) & \text{si } T_{AV} > 0 \\ 0 & \text{si } T_{AV} = 0 \\ \min(m_{14} - m_{13} \cdot T_{AV}, 0) & \text{si } T_{AV} < 0 \end{cases} \end{aligned}$$







# TIEMPO DE CAMBIO DE CANAL

Factores que influyen:

- Señalización IGMP (Unión/Abandono Grupo)  $T_J/T_L$
- Adquisición de Claves (Acceso Condicional, DRM)  $T_K$
- Decodificación de Vídeo  $T_V$
- Adquisición de Información de Programa (PSI, PAT, PMT)  $T_D$
- **Adquisición de Primera Trama Clave**  $T_F$
- **Amortiguación (VBR→CBR, Anti-Jitter)**  $T_B$
- Reordenación de Tramas  $T_R$
- Retardo en los enlaces de acceso y en la red  $T_N$
- Recuperación y Corrección de Errores (FEC/RET)  $T_E$
- Procesamiento (STB, Monitor)  $T_P$





# MODELO DE ESTIMACIÓN PARA TCC

[Kooij et al 2006] [Brunsström 2008]

$$\text{MOS} = \begin{cases} 5 & \text{si } T_{CC} < 0,1\text{seg} \\ 2,65 - 1,02 \cdot \ln(T_{CC}) & \text{si } 0,1\text{seg} \leq T_{CC} \leq 5\text{seg} \\ 1 & \text{si } T_{CC} > 5\text{seg} \end{cases}$$

$$T_{CC} = T_L + T_J + T_N + T_K + T_D + T_F + T_R + T_E + T_P + T_B + T_V$$

$$T_{CC} \approx T_K + T_D + T_F + T_E + T_B$$

$$T_{CC} \approx T_F + T_B$$



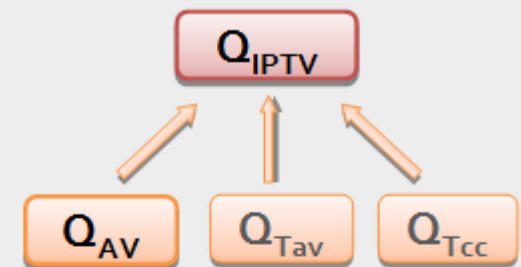


# CALIDAD GLOBAL DEL SERVICIO DE IPTV

Dos alternativas:

- Modelo Lineal:

$$Q_{IPTV} = K_{IPTV} + K_{AV} \cdot Q_{AV} + K_{TAV} \cdot Q_{TAV} + K_{TCC} \cdot Q_{TCC}$$



★ Modelo No Lineal:

$$Q_{IPTV} = K_{IPTV} + K_{AV} \cdot Q_{AV} + K_{TAV} \cdot Q_{TAV} + K_{TCC} \cdot Q_{TCC} + K_{AVTAV} \cdot Q_{AV} \cdot Q_{TAV} + K_{AVTCC} \cdot Q_{AV} \cdot Q_{TCC} + K_{TAVTCC} \cdot Q_{TAV} \cdot Q_{TCC}$$

Coeficientes: AHP

	$Q_{AV}$	$Q_{TAV}$	$Q_{TCC}$	
$Q_{AV}$	1	5	9	
$Q_{TAV}$	1/5	1	3	
$Q_{TCC}$	1/9	1/3	1	

	$Q_L$	$Q_I$
$Q_L$	1	9
$Q_I$	1/9	1

$K_{IPTV}$	$K_{AV}$	$K_{TAV}$	$K_{TCC}$
0,0833	0,6750	0,1620	0,0630

$K_{IPTV}$	$K_{AV}$	$K_{TAV}$	$K_{TCC}$
0	0,75	0,18	0,07

$K_{AVTAV}$	$K_{AVTCC}$	$K_{TAVTCC}$
0,0111	0,0045	0,0010





# SERVICIO DE LLAMADAS DE VOZ SOBRE IP (VoIP)

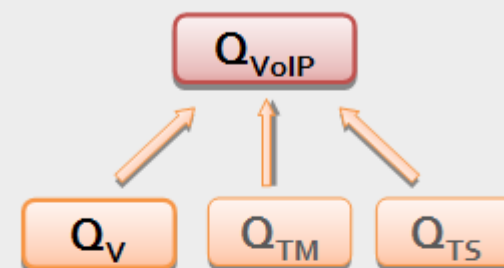




# CALIDAD DE EXPERIENCIA EN VoIP

Depende de múltiples factores:

1. Calidad de Voz
  2. **Tiempos de Respuesta:**
    - a) Tiempo de Espera para Marcación
    - b) Tiempo de Establecimiento de Llamada
  3. Disponibilidad y Fiabilidad del servicio
  4. Condiciones ambientales (ruido, ...)
  5. Accesibilidad y facilidad de uso (ergonomía)
  6. Servicio de Atención al Cliente
- Nos centramos en 1,2 y (posteriormente) 3.



¡CONTRIBUCIÓN!





# CALIDAD DE VOZ

- Medida: MOS-LQO [ITU-T P.800]
- Métodos de Medida:
  - PSQM [ITU-T P.861]
  - **PESQ** [ITU-T P.862]
- Depende de:
  - Tipo de Códec
  - Tasa de Codificación de Voz (ACR)
  - Fracción de Paquetes Perdidos (PLR)
  - Retardo, Jitter, ...
  - Eco, Ruido, Diafonía, ...







# MODELOS DE ESTIMACIÓN

- Modelo-E [ITU-T G.107]

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A$$

$$\text{MOS} = \begin{cases} 1 & R < 0 \\ 1 + 0,035 \cdot R + R \cdot (R - 60) \cdot (100 - R) \cdot 7 \cdot 10^{-6} & 0 \leq R \leq 100 \\ 4,5 & R > 100 \end{cases}$$

- Modelo-E para VoIP

[Werner 2003] [Sun et al 2004] [Fernández et al 2006]

$$R = R_0 - I_d - I_e$$

$$I_d = \begin{cases} 0,024 \cdot d & d < 177,3 \\ 0,134 \cdot d - 19,503 & d \geq 177,3 \end{cases}$$

$$I_e = a \cdot \ln(1 + b \cdot \rho) + c$$

- El efecto del 'jitter' se incluye en las pérdidas
- $a, b, c$  dependen del códec



# TIEMPO DE ESPERA PARA MARCACIÓN

- Desde que se descuelga
- Hasta que se recibe el tono de Invitación a Marcar

## ★ Modelo Propuesto:

- Basado en el usado para TCC en IPTV

[Kooij et al 2006] [Brunsström 2008]

- Valores Límite: ITU-T E.721

$$\text{MOS} = \begin{cases} 5 & T_E < 0,18 \text{ seg} \\ 2,15 - 1,66 \cdot \ln(T_E) & 0,18 \text{ seg} \leq T_E \leq 2 \text{ seg} \\ 1 & T_E > 2 \text{ seg} \end{cases}$$





# TIEMPO DE ESTABLECIMIENTO

- Desde que se termina de marcar
- Hasta que se recibe tono de llamada, ocupado o respuesta

## ★ Modelo Propuesto:

- Basado en el usado para TCC en IPTV  
[Kooij et al 2006] [Brunsström 2008]
- Valores Límite: ITU-T E.721

$$\text{MOS} = \begin{cases} 5 & T_S < T_{\text{MIN}} \\ K_1 - K_2 \cdot \ln(T_E) & T_{\text{MIN}} \leq T_S \leq T_{\text{MAX}} \\ 1 & T_S > T_{\text{MAX}} \end{cases}$$

- $K_1, K_2, T_{\text{MIN}}, T_{\text{MAX}}$  dependen del tipo de llamada





# MODELO DE ESTIMACIÓN PARA $T_{EST}$

★ Basado en resultados de [IETF 1999] [Eyers et al 2000] sobre tiempos de establecimiento de llamada en VoIP

$$T_{EST} = \sum_i (N_i \cdot T_{RPI} + T_{Pi}) + \sum_j (T_{Cj}) + T_{RT}$$

$i$	nº de agentes/servidores
$j$	nº de conmutadores
$N_i$	nº de interacciones con el agente $i$
$T_{RPI}$	Retardo de Propagación hasta el agente $i$
$T_{Pi}$	Tiempo de Proceso en el agente $i$
$T_{Cj}$	Retardo de Encolamiento en el conmutador $j$
$T_{RT}$	Tiempo de Espera debido a las Retransmisiones





# CALIDAD GLOBAL DEL SERVICIO DE VoIP

Dos alternativas:

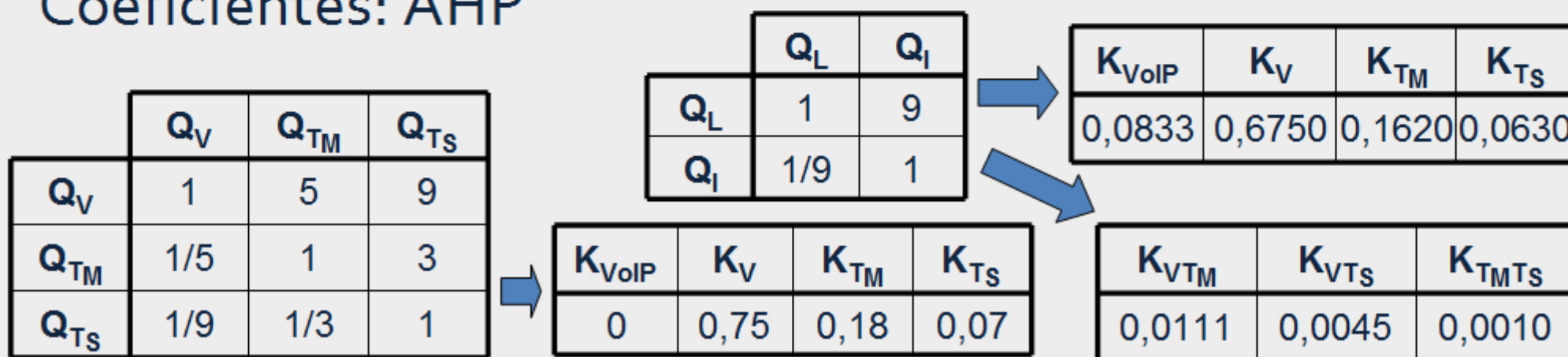
- Modelo Lineal:

$$Q_{VoIP} = K_{VoIP} + K_V \cdot Q_V + K_{TM} \cdot Q_{TS} + K_{TS} \cdot Q_{TS}$$

★ Modelo No Lineal:

$$Q_{VoIP} = K_{VoIP} + K_V \cdot Q_V + K_{TM} \cdot Q_{TM} + K_{TS} \cdot Q_{TS} + K_{VTM} \cdot Q_V \cdot Q_{TM} + K_{VTS} \cdot Q_V \cdot Q_{TS} + K_{TMTS} \cdot Q_{TM} \cdot Q_{TS}$$

Coeficientes: AHP







# SERVICIO DE ACCESO A INTERNET

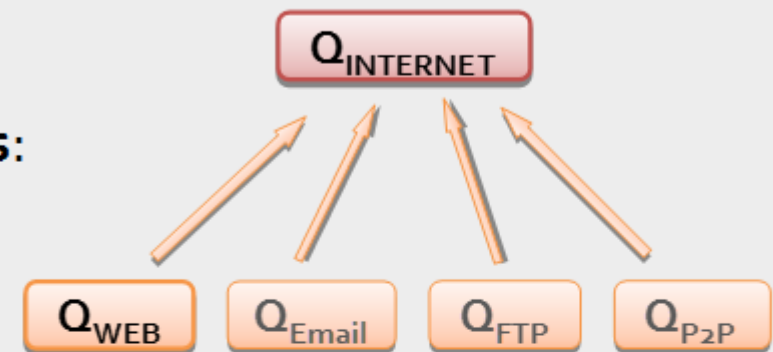




# CALIDAD DE EXPERIENCIA EN INTERNET

Depende de múltiples factores:

1. **Calidad de los servicios componentes:**
  - a) [Navegación](#) (Web Browsing)
  - b) [Correo Electrónico](#) (E-Mail)
  - c) [Transferencia de Archivos](#) (FTP)
  - d) [Compartición de Archivos](#) (P2P)
  - e) Otros: Juegos interactivos, Redes Sociales, etc.
2. [Disponibilidad y Fiabilidad](#) del/los servicio(s)
3. Condiciones subjetivas: tarea, propósito, etc.
4. Accesibilidad y facilidad de uso de los servicios (ergonomía)
5. Servicio de Atención al Cliente



¡CONTRIBUCIÓN!

Nos centramos en 1 y (posteriormente) 2





# SERVICIO DE ACCESO A INTERNET

- Servicio Final
- Servicios Básicos

## ★ Percepciones/FGVs **comunes**

- Tiempo de Arranque
- Velocidad de Transferencia Sostenida

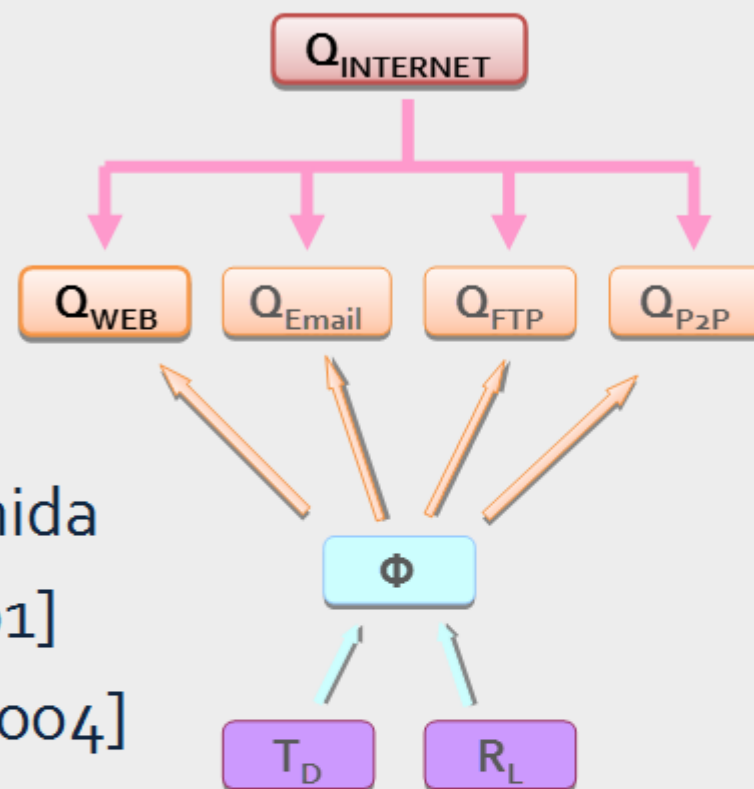
## ★ Factores de Eficiencia [Charzinski 2001]

## ★ Modelo de Estimación [Van der Mei 2004]

$$\text{MOS} = \max(1, 5 + \log_2 \Phi)$$

- Ancho de Banda **Sostenible** (99%) [ADTRAN 2009]
- Ancho de Banda **Sostenido**

$$R_L = 1/\text{RTT} \cdot \sqrt{3/(2 \cdot b \cdot \text{PLR})}$$





# SERVICIO DE NAVEGACIÓN (WWW)

$$\Phi_4 = \min ( 1 , (d_t + B_L / r_t) / T_T )$$

$$T_T = T_D + T_L$$

$$T_D = T_{DNS} + 2 \cdot RTT$$

$$T_L = T_{MAIN} + \sum_i (S_i) / R_L \approx (N+1) \cdot S / R_L$$

$d_t$  Tiempo de Respuesta Objetivo

$B_L$  Tamaño de página

$r_t$  Ancho de Banda Sostenible





# SERVICIO DE CORREO ELECTRÓNICO (Email)

$$\star \quad \Phi_4 = \min ( 1 , (d_t + N_{MAIL} \cdot S_{MAIL} / r_t) / T_T )$$

$$T_T = T_{RESP} + T_{TRF}$$

$$T_{SNMP} = T_{DNS} + T_{SYN} + T_{GREET} + T_{CMD} + T_{DATA} + T_{MAIL} + T_{MOK}$$

$$T_{POP3/IMAP} = T_{DNS} + T_{SYN} + T_{GREET} + T_{CMD} + T_{RETR} + T_{MAIL}$$

$$T_T = T_{CMD} + T_{MAIL} + T_{SERV}$$

$$\star \quad T_T \approx N_{CMD} \cdot T_{CMD} + N_{MAIL} \cdot S_{MAIL} / R_L + T_{SERV}$$







# SERVICIO DE TRANSFERENCIA DE ARCHIVOS (FTP)



$$\Phi_1 = K_G \cdot G + K_{TTP} \cdot TTP$$



$$G \approx G_0 - k \cdot PLR$$



$$TTP \approx TTP_0 \cdot \min(1, e^{-k \cdot (PLR - PLR_0)})$$

$G, TTP$ : [Beuran et al 2003, 2004]

Tamaño	$G_0$	$k$
10 KB	1	1,3
$\geq 100$ KB	0,95	0,95

	Tamaño de Archivo			
RTT	10 KB	100 KB	1 MB	10 MB
0,8 ms	0,0219	0,1650	0,8221	0,8919
60 ms	0,0029	0,0141	0,0559	0,0791

Tamaño	RTT	$k$	$PLR_0$
10 KB	0,8 ms	62	0
	60 ms	21	0
100 KB	0,8 ms	70	0,06
1 MB	0,8 ms	55	0,02
10 MB	0,8 ms	56	0,02





# SERVICIO DE COMPARTICIÓN DE ARCHIVOS (P2P)

Dos regímenes:

Transitorio	Permanente
Pocos servidores Nº clientes creciente Capacidad crece exponencialmente	Nº clientes y servidores estable Capacidad estable

★  $\Phi_4 = \min ( 1 , (d_t + L/r_t)/(T_D + T_L) )$

★  $r_t = \min(r_s, R_C) = \min(n \cdot R_S, R_C)$

**Reg.Transitorio:**  $T_L = 1/(m \cdot \beta) \cdot \ln(m \cdot q/d)$  [Yang et al 2004]

**Reg.Permanente:**  $T_L = L/R_C$   
 $R_C = L \cdot l/n$  [Carlsson, Dan 2009]  
 $R_C = \mu_S \cdot (n + y/x)$  [Yang et al 2004]





# CALIDAD GLOBAL DEL SERVICIO DE ACCESO A INTERNET

Dos alternativas:

- Combinación Lineal de Valoraciones de Calidad

$$Q_{AI1} = K_{AI} + K_{WEB} \cdot Q_{WEB} + K_{MAIL} \cdot Q_{MAIL} + K_{FTP} \cdot Q_{FTP} + K_{P2P} \cdot Q_{P2P}$$



Combinación Lineal de Factores de Eficiencia

$$\Phi_{AI1} = K_{AI} + K_{WEB} \cdot \Phi_{WEB} + K_{MAIL} \cdot \Phi_{MAIL} + K_{FTP} \cdot \Phi_{FTP} + K_{P2P} \cdot \Phi_{P2P}$$

Coeficientes: AHP

	WWW	Email	FTP	P2P
WWW	1	4	6	6
Email	1/4	1	3	3
FTP	1/6	1/3	1	1
P2P	1/6	1/3	1	1

WWW	Email	FTP	P2P
0,6121	0,2164	0,0858	0,0858





# CALIDAD DEL SERVICIO GLOBAL (3P)





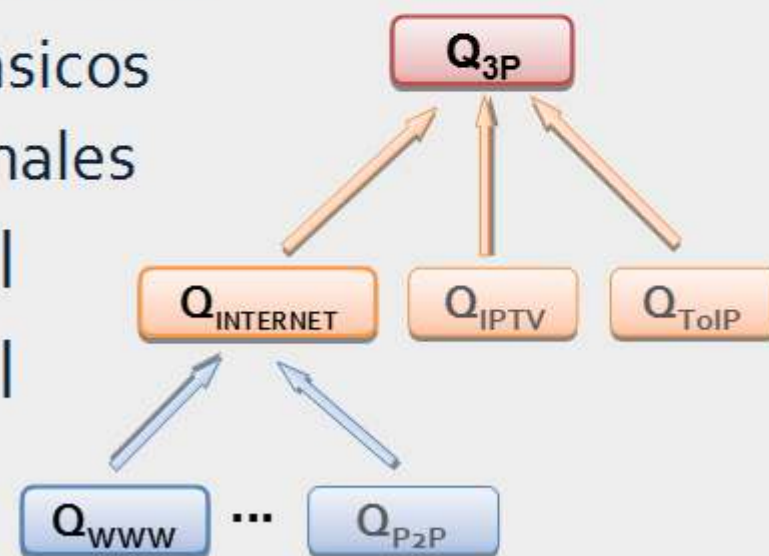
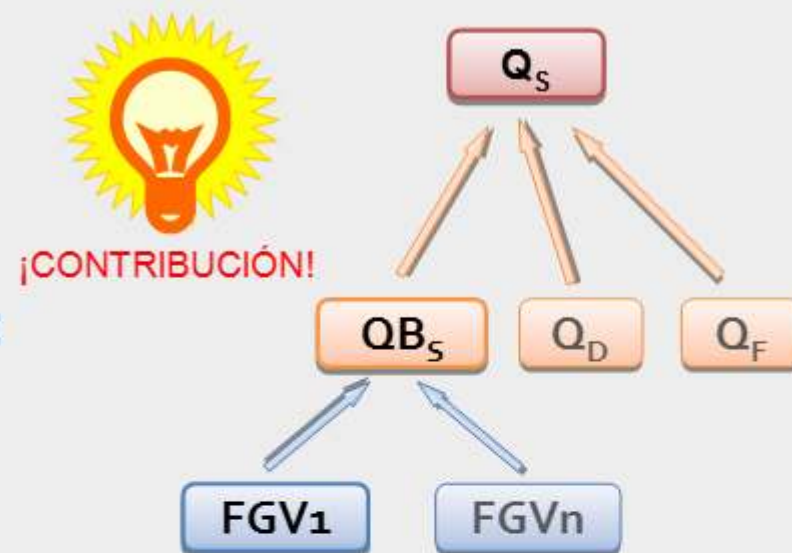
# CALIDAD GLOBAL EN SERVICIOS 3P

- Proceso de Valoración Global:

1. Servicios Elementales/Finales  
→ 'Calidad Básica'
2. Efecto de la Fiabilidad y Disponibilidad
3. Ponderación de los Servicios Básicos
4. Ponderación de los Servicios Finales

- Proceso de Ponderación Local

- Proceso de Agregación Global







# DISPONIBILIDAD Y FIABILIDAD

- FGV = Fracción de 'conexiones' fallidas/interrumpidas

## ★ Modelo de Valoración:

$$Q_i = \begin{cases} 1 & p < p_{\max} \\ (\log p - \log p_{\min}) / (\log p_{\max} - \log p_{\min}) & p_{\max} \leq p \leq p_{\min} \\ 0 & p > p_{\min} \end{cases}$$

$$MOS_i = 1 + 4 \cdot Q_i$$

## ★ Modelo de Ponderación:

- Lineal:

$$MOS_S = K_B \cdot MOS_B + K_D \cdot MOS_D + K_F \cdot MOS_F$$

- Multiplicativo:

$$Q_S = Q_B \cdot Q_D \cdot Q_F$$

$$Q_i = (MOS_i - 1) / 4$$





# PONDERACIÓN DE LOS SERVICIOS FINALES

★ Importancia relativa (Usuarios Residenciales)

→ A partir de estadísticas de uso [INE 2011]

Servicio	Internet	ToIP	IPTV
% Hogares	63,9	80,6	99,6
Peso	0,2618	0,3302	0,4080

$$\text{Peso} = \% \text{Hogares} / \sum_s (\% \text{Hogares}_s)$$





# PROCESO DE PONDERACIÓN LOCAL

- Matriz de Ponderación Local:
  - Depende de los Flujos de Información considerados
  - Flujo único: no precisa ponderación
  - Múltiples flujos: 'Peso' de cada Capacidad depende de:
    - o Participación en cada flujo
    - o Importancia de cada flujo

	Flujos	Residenciales			
		1	2	3	4
Ser vi ci os	Navegación	0,2	0,1	0,3	0,4
	Telefonía IP	0,4	0,6	0	0
	IPTV	0	1	0	0

- Proceso de cálculo:

1. Capacidades Relevantes
  2. Porcentajes de flujos
- } → 3. Pesos

AGENTE	CAPACIDAD	SERVIDOR		CACHE	
		EXTERNO	INTERNO	ISP	LOCAL
ISP	Conect. Interna	X	X	X	
	Conect. Externa	X			
	Almacenamiento			X	

ISP	Navegación		
	Res.	SOHO	Emp.
Conect. Interna	0,6	0,8	0,9
Conect. Externa	0,2	0,2	0,4
Almacenamiento	0,3	0,5	0,3





# PROCESO DE AGREGACIÓN GLOBAL

- Basado en MÉTRICAS:

Indicador	Métrica	Operación
Retardo	Aditiva	Suma
Varianza del Retardo	Aditiva	Suma
Variación del Retardo (Jitter)	RSC	$\sqrt{\sum x^2}$
Ancho de Banda	Cóncava	Mínimo
Fracción de Paquetes Transmitidos	Multiplicativa	Producto
Fracción de Paquetes Perdidos	$\approx$ Aditiva	Suma (aprox)





# CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS







# CONCLUSIONES

- Contribución a la Estimación
  - de la Calidad Percibida por los Usuarios (QoE)
  - en Servicios Triple-Play Convergentes
  - en tiempo casi-real
  - a partir de parámetros de Calidad de Servicio (QoS)
  - y Rendimiento de la Red
- Modelo Matricial [Liberal 2005]
  - + Actualización de los servicios (3P completo)
  - + Nuevos elementos (percepciones, FGV, indicadores, etc.)
  - + Modelos de Estimación nuevos, extendidos, o adicionales
  - + Extensión, actualización y mejora de los modelos de Calidad Global





# APORTACIONES (I)

1. Modelo de Estimación de la Calidad de Vídeo en IPTV
  - + Medidas de Información Espacial y Temporal Promedio (ASI/ATI)
  - + Cálculo y uso de Tablas de Complejidad
  - + Clasificación de las secuencias
2. Tratamiento específico de la Fiabilidad y Disponibilidad
  - a) Modelo de Valoración (logarítmico)
  - b) Modelo de Ponderación (no lineal)
3. Servicio de Difusión de TV:
  - + Calidad Audiovisual
  - + Desincronización Audio-Vídeo
    - Dos modelos: Logarítmico/Factor de Degradación
  - + Tiempo de Cambio de Canal
  - + Modelos de Calidad Global: Lineal/No Lineal/Factores de Degradación
  - + Conversión VQM->MOS (lineal)





# APORTACIONES (II)

- Servicio de Llamadas de Voz:
  - a) Tiempos de Respuesta (Marcación y Establecimiento)
    - Modelos de estimación de la influencia (~TCC)
    - Modelo genérico para el Tiempo de Establecimiento
  - b) Modelos de Calidad Global: Lineal/No Lineal
- Servicio de Acceso a Internet:
  - a) Servicio de Compartición de Archivos (P2P)
  - b) Factores de Eficiencia
  - c) Percepciones/FGV comunes
  - d) Modelo de estimación de los Factores de Eficiencia para FTP
  - e) Modelos de Calidad Global:
    - Combinación lineal de Valoraciones de Calidad
    - Combinación lineal de Factores de Eficiencia
- Banco de Medidas:
  - Prevención y Corrección de Pérdidas de Tramas
  - Herramienta de medición de ASI/ATI (STIX)





# PUBLICACIONES

- Ponencias en Congresos:
  1. Perceived Video Quality Estimation from Spatial and Temporal Information Contents and Network Performance Parameters in IPTV. ICDT 2010.
  2. Estimating Perceived Video Quality from Objective Parameters in Video over IP Services. ICDT 2012.
  3. Estimation of Perceived Quality in Convergent Services. ICDT 2012.
- Proyectos Fin de Carrera:
  - Diseño e Implementación de un Banco de Medidas para la Estimación de la Calidad Percibida de Vídeo en IPTV. UPM. Julio 2011.
- Artículos:
  - A Model for Perceived Video Quality Estimation from Coding and QoS Parameters in IPTV. Pendiente de envío.
- Soporte:
  - Proyecto ARCO (Beca MCI TEC 2008-06539)
  - Cátedra Alcatel-Lucent (UPM/ETSIT)



# LÍNEAS FUTURAS

1. **Validación del Modelo** (Base de Datos de Prueba)
2. **Modelo de Calidad de Vídeo:**
  - Influencia de otros parámetros (además de VCR y PLR)
  - Medidas de Información de Color
  - Influencia del GOP
  - Métricas no aditivas para VQM
  - Ampliación de la BD de secuencias de prueba para validación del Modelo
3. **Calidad Audiovisual:**
  - Medidas de Contenido de Información de Audio
  - Influencia en los coeficientes de los modelos
  - Clasificación de secuencias audiovisuales
4. **Modelos de estimación (a partir de QoS) para:**
  - Retardo audio-vídeo
  - Tiempo de Cambio de Canal
  - Tiempo de Espera para Marcación
  - Tiempo de Establecimiento de Llamada
  - Tiempo de Respuesta y Velocidad de Descarga en P2P
  - Fracción de Conexiones Fallidas e Interrumpidas
5. **Modelos definitivos de Calidad Global para los Servicios Finales**
6. **Ponderación de los Servicios Finales para usuarios no residenciales**
7. **Nuevos servicios, percepciones, FGVs, indicadores, etc.**





# RESUMEN

	Función	
Servicio/Percepción/etc.	Valuación (MOS)	Parametrización
Triple-Play Global	Pesos deducidos de datos de uso (A)	
Fiabilidad/Disponibilidad	Modelo propio (multiplicativo+logarítmico) (A)	
Difusión de Televisión (IPTV)	Modelo lineal/no lineal/degradación (A)	
Calidad de Video	Modelo Propio (A)	Modelo Propio (A)
Contenido de Información	Definición de ASI/ATI (A)	
Calidad de Audio	[GAR2009a] [GAR2011a]	
Calidad Audiovisual	[GAR2009a] [GAR2011a]	
Sincronización Audio-Video	Variación logarítmica (A) Factor de Degradación (adaptado de ITU-T G.1070)	LTF
Tiempo de Cambio de Canal	[KOO2006a] [BRU2008a] [ASG2008a] [SIE2008a]	LTF
Llamadas de Voz (Telefonía IP)	Modelo lineal/no lineal (A)	
Calidad de Audio	Modelo-E p/VoIP	Factor-R p/VoIP
Tiempo de Espera para Marcación	Adaptación modelo TCC (A)	LTF
Tiempo de Establecimiento de Llamada	Adaptación modelo TCC (A)	Modelo Genérico (A) basado en [IET1999g]
Acceso a Internet	Combinación de Valoraciones de Calidad / Factores de Eficiencia (A)	
Navegación	Adaptación de [VAN2004a] (A)	$\Phi_4$ [CHA2001b]
Correo Electrónico		Factores de Eficiencia ( $\Phi$ ) (A) inspirados en [CHA2001b]
Transferencia de Archivos		
Compartición de Archivos		
Banco de Medidas	Diseño e implementación [ALV2011a]	
Medidas	[ALV2011a]	
Análisis, Resultados	Correlación, Error, RMS (A)	

A = Aportación LTF = Línea de Trabajo Futura





FIN

